

## 自序

電子工業成為台灣現在與未來最熱門的行業，已經是不爭的事實。電子工程師身價水漲船高、社會新鮮人以進入科學園區為求職標的、阿扁總統說要將台灣變成綠色矽島、全球股市也以電子股為看盤指標，投資分析師一致推崇買電子科技股是最避險的壓寶法，而且要長期持有，以上這些都印證了電子工業在未來的大好光景。近年來新竹科學園區在微電子工業方面的快速成長已廣泛引起國際間注意，而興建中的台南科學園區以及政府規劃中的台中和高雄等科學園區將使得台灣在未來成為以微電子工業為主的科技島，並在國際舞台上扮演更重要的角色。可以肯定的是，二十一世紀的台灣將更需要大量微電子方面的人才。但是，欲成為一位專業的電子工程師及相關從業人員，必須具備電子電路方面的基本知識與分析能力。所以有志加入電子新貴行列的學子，若能將電子電路這門功課學好，相信對於未來的深造與就業必然有極大的助益。

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 已經成為微電子領域中電腦輔助電路分析的標準。目前在世界各地，包括北美、日本和台灣，許多 IC 設計人員均以 SPICE 從事電路設計的工作。眾所皆知如欲主宰電子電路的設計，必須建立一套成熟且有效的電路分析軟體。本書的主要目的在於告訴讀者如何使用 SPICE 分析微電子電路，除了指令敘述方式和程式書寫之外；更重要的是，協助讀者如何判斷模擬結果的正確性及了解其在電路上所代表的意義。

自從 1970 年代初期發展以來，SPICE 至今已被全球各大學電機電子相關科系之大學部或研究所學生廣泛使用。雖然期間陸續出現許多不同的電子電路專用之電腦輔助分析軟體，亦被許多業界或研究單位使用，但是沒有一個軟體的普及性可與 SPICE 相比。這主要歸功於美國加州大學柏克萊分校電子研究實驗室 (Electronics Research Laboratory of the University of California, Berkeley) 在程式發展初期所訂定的一些軟體推廣政策，部份甚至是完全免費提供使用者。

目前市面上有許多提供個人電腦使用的電子電路模擬程式，而最廣為使用的 SPICE 軟體則是由美國 MicroSim 公司所發行，它是一種可在 IBM 及



其相容性電腦上執行的電路模擬軟體。1998 年，致力於電子工程專用多功能軟體設計的 EDA (electronic design automation) 廠商 OrCAD 將 PSPICE A/D 併購並整合為 OrCAD PSPICE A/D。1999 年六月，EDA 界的知名公司 Cadence 買下功能強大的電路模擬軟體 OrCAD PSPICE A/D 並且併入其下的 PCB (printed circuit board) 部門，該公司並計劃整合原有的 Cadence PSPICE Schematics Editor 與 OrCAD PSPICE A/D 於未來推出 Cadence PSPICE 9.1 類比與混合訊號模擬器 (analog and mixed-signal simulator)。

我們將使用 Cadence 公司免費提供的學生版 PSPICE Release 9.0 做電路模擬，而學生版 PSPICE 限制使用 10 個電晶體、64 個節點和 10 條傳輸線，一般大學部同學分析的電路可適用上述限制條件。為了使學生更加熟悉學生版 PSICE 的描述語法，本書中所有例題將在學生版環境下模擬，另外，一些超過學生版限制的電路，我們將使用專業版 OrCAD PSPICE A/D 處理。

關於學生版或專業版 OrCAD PSPICE A/D 的其他問題，讀者可以直接詢問 Cadence 公司或其台灣代理商映陽科技股份有限公司：

美 國 原 廠	台 灣 代 理 商
Cadence PCB Systems Division 13221 S.W 68 <sup>th</sup> Parkway, Suite 200 Portland, Oregon 97223 USA Phone: 503-671-9500 Fax: 503-671-9501 Email: pcbinfo@cadence.com 或經由其網站首頁 <a href="http://www.pspice.com">www.pspice.com</a> <a href="http://www.orcad.com">www.orcad.com</a> <a href="http://www.cadence.com">www.cadence.com</a>	映陽科技股份有限公司 台北縣三重市重新路五段 609 巷 16 號 3 樓  Phone: (02)2995-7668 Fax: (02)2995-7559  <a href="http://www.graser.com.tw/orcad">www.graser.com.tw/orcad</a>

本書中針對每一個電路的講解主要分為兩部份——SPICE 模擬與手算分析。在 SPICE 模擬中，除了列出輸入檔外，亦會針對部份重要的指令詳細說明。再者，模擬結果顯示的方式主要是以輸出檔或是繪圖（轉換特性、頻譜、訊號波形等）方式表達。由於 SPICE 所提供的程式書寫與指令敘述



的方式相當簡單，所以要獲得模擬結果並不是件困難的事。根據我多年的教學經驗發現，一般學生以 SPICE 模擬電子電路所遭遇的最大困難在於如何判定模擬結果是否正確，以及如何進一步由模擬結果中解讀曲線或是數值所代表的意義與其內含。於是，在每一電路中我們儘可能的加入部份的基本電路觀念與手算分析，以協助 SPICE 使用者增加正確性判定與意義解讀方面的能力。由於手算分析並不是本書的主軸，所以對於電路分析過程中，許多複雜的詳細推導我們均將省略，只摘錄手算分析的基本假設與結果。於是，即使對於電子電路之手算分析能力不強的讀者，亦能對電子電路的計算機模擬產生興趣進而有效吸收。

本書的內容分為十四單元，分別摘錄如下：第 1、2 章介紹半導體元件的模型和 SPICE 敘述語法以及元件電流電壓特性曲線追蹤。講解的半導體元件包括二極體、雙載子接面電晶體 (BJT)、金氧半場效電晶體 (MOSFET)、接面場效電晶體 (JFET)、金半場效電晶體 (MESFET)。

第 3 章主要介紹電子電路的直流操作點分析，重點在於告訴讀者如何使用 SPICE 中的操作點分析指令.OP 和直流掃描指令.DC。內容包括基本二極體電路、齊納二極體限制器等電路轉換特性曲線的掃描。亦將模擬許多 BJT，加強式和空乏式 MOSFET、JFET 和 MESFET 等電路之直流操作點。

第 4 章介紹交流與暫態分析，讀者可由本章的許多模擬實例中熟悉交流頻率響應分析指令.AC 和暫態分析指令.TRAN。模擬電路包括雙載子與場效電晶體放大器以及 NMOS 和 CMOS 類比開關。

第 5、6 章分別介紹運算放大器與積體電路放大器，內容包括運算放大器電路及其應用，BJT 和 MOS IC 偏壓技術、差動放大器的差模、共模轉換特性和小訊號分析以及輸入偏移電壓的計算等。此外，我們也將模擬 CMOS 放大器與多級放大器，其中亦將學習.NODESET 指令在多級放大器上的應用。

第 7、8、9 章分別介紹頻率響應、回授和輸出級。這部份將出現許多精彩的內容，包括 BJT、MOS 和差動等放大器頻率響應的模擬，低頻回授與穩定度的分析，各種頻率補償技術，以及 A、B 和 AB 類輸出級的轉換特性和傳輸訊號波形。

第 10 章我們將利用 SPICE 模擬一個 BJT 741 運算放大器，分析主題包括大訊號差模與共模轉換特性、直流分析、交流分析，以及 741 的全級大小與相角頻率響應。並將考慮一電壓追隨器的脈衝響應藉以了解 741 op amp 的延遲率限制。



第 11 章為濾波器的模擬，分析電路包括 GIC 式高通、帶通、全通濾波器，以及 GIC 式正規帶拒和高通帶拒濾波器。另外亦將模擬 TIL 式多功能二階濾波電路以及單一放大器二階濾波器。

第 12 章為波形產生器的模擬，分析電路有文氏電橋等正弦振盪器、單穩態和無穩態複振器等。本章除了利用 `.TRAN` 指令繪出訊號波形外，亦將使用傅立葉級數分析指令 `.FOUR` 以了解訊號失真的情形。

第 13、14 章分別是金氧半和雙載子數位電路的模擬，這兩章中將有許多深入且精彩的模擬與觀念解說。就 MOS 部份，電路主要有 NMOS、CMOS、和假-NMOS 等邏輯閘。就 BJT 部份，則以 TTL 為主要模擬對象。這兩章中，我們均將模擬一手算分析相當困難且複雜的問題——反相器串接級的靜態與動態特性。

本書的完成首先要感謝另一作者蔡佩珊在電路繪圖、程式執行、資料整理方面付出相當多的心血，她認真、敬業與負責的態度在我的學生中是最為傑出的。感謝鼎茂圖書出版有限公司發行人鄧朝貴先生、社長陳銘桐先生、副社長王小琴小姐、企劃編輯邱逸清小姐、責任編輯吳檸燦小姐、電腦製圖陳淑華及張瓊尹小姐，以及全體同仁的鼎力協助。感謝映陽科技公司免費提供我們 SPICE 專業版以及業務部湯秀美小姐和工程部王鴻獻先生在軟體上的大力協助。更要感謝聯華電子股份有限公司董事長宣明智、台大電機系曹恒偉和劉深淵兩位教授在百忙中抽空審查本書初稿並為文作序。再者，要感謝研究生張立穎、范振能和王宗政在軟體和繪圖作業上的協助，亦感謝許多我所教過的學生，過去在課堂上給我的支持與靈感，以及對本書內容提出許多寶貴的建議。

最後，感謝父母的養育之恩和妻子秋鶯不辭辛勞的照顧家庭與小孩以及大嫂黃月桂女士和王家長期對栢遠和智森視同己出的細心照顧，使我無後顧之憂。我在本書編撰校對過程雖力求嚴謹，然誤謬之處，在所難免，尚祈各位教師、學者、工程界先進與同學，賜予寶貴的建議，使本書更加完善（電子郵件信箱：[spice@ee.tku.edu.tw](mailto:spice@ee.tku.edu.tw)）。

張文清

謹識於台北  
2000 年 6 月